

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y ENSEÑANZA EN COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA E INTEGRIDAD DE SEÑAL FCEIA/UNR

Roatta, Santiago - sroatta@fceia.unr.edu.ar - Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Geninatti, Sergio - foco@fceia.unr.edu.ar - Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Gennai, Gerardo - ggennai@fceia.unr.edu.ar Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

RESUMEN

Este trabajo presenta el programa de investigación y desarrollo del Departamento de Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario sobre compatibilidad electromagnética e integridad de señal en el proceso de desarrollo de sistemas electrónicos.

El aumento de las frecuencias de reloj, la reducción de las tensiones de alimentación, y la popularidad de las comunicaciones inalámbricas, fuentes conmutadas y equipamiento electrónico en general, plantean exigencias crecientes en estos campos que difícilmente pueden ser abordadas a partir de conocimientos de ciencias y tecnologías básicas y/o de tecnologías aplicadas no específicas.

En este contexto, el Departamento de Electrónica de la FCEIA UNR, está abocado al estudio y desarrollo de medios que permitan integrar estos conocimientos en los procesos de formación de grado y posgrado.

Como parte de las actividades se ha implementado una asignatura electiva de grado, un curso de posgrado, un proyecto de vinculación tecnológica con el entramado productivo local, la adquisición de instrumental, sondas y antenas; y un proyecto de investigación.

Palabras Clave: EMC, Integridad de Señal, EMI.

CONTEXTO

La investigación se encuentra inscripta en el proyecto de investigación y desarrollo de la UNR: “Laboratorio para la enseñanza de compatibilidad electromagnética e integridad de señal: desarrollo, aplicación y optimización”, Código 80020190300026UR. Además del anterior, se encuentra en su primera etapa de ejecución el proyecto PFIP ESPRO 2017 COFECYT: “Impulso para la

mejora competitiva regional en diseño y producción de equipamiento electrónico”, declarado de interés por la Provincia de Santa Fe y financiado por el Cofecyt, la UNR y las siguientes empresas: Krets SA; Ingeniería electrónica argentina SRL; Chiarella diseño y tecnología; Ohana SRL; Sensor automatización agrícola SA. y Texel SRL. Este último proyecto, permitirá la adquisición de instrumental, sondas y antenas para el equipamiento de un laboratorio destinado a la enseñanza de EMC e IS y ensayos de precumplimiento.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de la gran demanda sobre cuestiones de compatibilidad electromagnética (EMC) e integridad de señal (IS) en el sector industrial, históricamente, las carreras de ingeniería no han abordado estos temas. A partir la década del 80 el ámbito académico fue reconociendo la necesidad de enseñanza de estas temáticas y las incorpora progresivamente. Algunas universidades lo hacen tempranamente [1], por ejemplo: Institutos federales de tecnología de Lausana y Zurich; Universidad técnica de Eindhoven; Instituto real de tecnología de Suecia; Universidades de Florencia, Turín y Roma; Instituto real de tecnología de Melbourne; Universidad de Kansas; Universidad de California-Berkeley y otras. Dentro del grupo destaca la Universidad de Kentucky con el trabajo pionero de Clayton Paul, autor del libro “*Introduction to Electromagnetic Compatibility*”, primer texto pensado para clases de EMC en el ámbito universitario. Esta universidad presenta un curso integrado y electivo ubicado en el último año de la carrera. El curso fue electivo como solución de compromiso para lidiar con el conocido problema de currícula sobrecargada de las carreras de ingeniería. A pesar de que no se podía asegurar que todos los estudiantes optaran por un curso electivo, se logra que

INTEGRACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA E INTEGRIDAD DE SEÑAL A LA FORMACIÓN DE GRADO Y POSGRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Roatta, Santiago - sroatta@fceia.unr.edu.ar - Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Geninatti, Sergio - foco@fceia.unr.edu.ar - Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Gennai, Gerardo - ggenai@fceia.unr.edu.ar Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

fuera muy convocante con la ayuda de experiencias prácticas y visitas a laboratorios[2], [3]. La Universidad Estatal de Dakota del Norte, también aplica esta metodología [4]. La "University of Liverpool", opta por la enseñanza de EMC de manera distribuida, durante todo el transcurso de la carrera, orientando cursos obligatorios como electromagnetismo hacia la faceta de la EMC. Aún con una metodología distinta para encarar la sobrecarga de la currícula utilizan experiencias prácticas para reforzar el interés de los estudiantes y la fijación de conocimientos [5]. Las mismas conclusiones se ven en la experiencia en la Universidad de Rolla-Missouri [6]. Un caso desarrollado en India plantea un curso a distancia para mayor alcance y disminución de costos [7], con énfasis en la importancia de las mediciones, en este caso impartidas a través de videos.

Siguiendo con la cronología, la "San Francisco State University", deja de lado la dicotomía entre curso integrado y enseñanza distribuida y aplica ambos conceptos sobre su currícula [8]. Incorpora principios y aplicaciones relacionados con EMC en dos cursos de electromagnetismo y uno de comunicaciones y agrega un curso específico de EMC. Todos respaldados por experiencias prácticas en un laboratorio de alta frecuencia. En el mismo sentido, la Universidad estatal de Utah comienza con la enseñanza de EMC por primera vez en 2003 [9], introduciendo los conceptos de EMC durante el transcurso de la carrera para finalmente integrarlos con un curso final. Aquí se remarca la importancia de las experiencias prácticas y se recomienda el "EMC Education Manual" de la IEEE EMC Society.

La Universidad de Sidney Occidental remarca que, si bien, los conceptos de EMC pueden introducirse a lo largo de la carrera, es indiscutible la importancia de un curso de integración final. Este trabajo [10] también

describe brevemente seis experiencias prácticas y sugiere que durante el cursado los estudiantes deberían tener total acceso a los laboratorios. También propone la utilización de Internet para la investigación de casos de Interferencia electromagnética (EMI).

Las Universidades Normal de Nanjing y Tecnológica de Singapur plantean el diseño de un circuito impreso (PCB) por parte de los estudiantes en dos versiones: una al principio del curso, sin conocimiento de EMC y otra al final del curso de EMC para finalmente comparar las emisiones radiadas de ambas [11]. Se realza la importancia del diseño y de la utilización del instrumental.

El Instituto de Tecnología Rose-Hulman en Indiana, presenta 2005 un curso sobre EMC e IS en la carrera de ingeniería informática [12]. El objetivo era el diseño digital de alta velocidad, por lo que se centraba en los aspectos de IS y EMC de PCB para sistemas digitales de alta velocidad. Además del programa sintético se describen ocho experiencias prácticas.

Una interesante experiencia de laboratorio ilustra los efectos del acoplamiento de campo cercano usando dos PCB separadas [13], conceptos que se aplican al diseño de PCB multicapa.

La Universidad McGill, Montreal, también focaliza principalmente sobre IS [14]. En este caso, la enseñanza se realiza utilizando simuladores de circuitos y experiencias prácticas especialmente diseñadas para que los estudiantes se familiaricen con los instrumentos de medición: analizador de espectro, analizador de redes, sondas de campo cercano y antenas.

Tres interesantes experiencias de laboratorio son utilizadas en el curso de EMC e IS de la carrera de Ingeniería Informática del Instituto de Tecnología Rose-Hulman, Indiana [15].

El proceso de enseñanza de EMC de la Universidad de Hong Kong comienza en 1994

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y ENSEÑANZA EN COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA E INTEGRIDAD DE SEÑAL FCEIA/UNR

Roatta, Santiago - sroatta@fceia.unr.edu.ar - Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Geninatti, Sergio - foco@fceia.unr.edu.ar - Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Gennai, Gerardo - ggennai@fceia.unr.edu.ar Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

con un curso de grado que posteriormente devino en uno de los cursos de postgrado más populares en dicha universidad [16]. El mismo incluye diversas actividades pero pone énfasis en las pruebas de laboratorio e instalaciones de EMC.

Algunos expertos remarcaban la importancia de la enseñanza práctica presentando algunos experimentos de laboratorio, el curso de Universidad de Ciencias Aplicadas JAMK en Jyväskylä, Finlandia es un ejemplo de ello. A decir de los autores, este curso es muy práctico y sin sobrecarga teórica [17].

Las implementaciones de experiencias de laboratorio son enormemente enriquecedoras en conceptos de EMC para electrónica de potencia [18].

Las herramientas de simulación son muy útiles para el tratamiento de IS. [19]

La Universidad de Reno, Nevada, USA desarrolla en 2016 un programa de renovación de sus populares cursos de grado y posgrado de EMC [20]. El documento describe los temas del curso, experiencias prácticas de laboratorio, un ejercicio de simulación numérica y conferencias de expertos de EMC invitados de la industria. También contiene un análisis sobre las opiniones de los estudiantes que tomaron el curso.

Todo este material referenciado (acotado en este informe por razones de brevedad), visibiliza problemas, soluciones y conflictos que se encuentran durante el desarrollo de diversos procesos de enseñanza de EMC e IS. Conflictos y soluciones que también fueron experimentados nuestra carrera de ingeniería electrónica: sobrecarga de horas en la currícula, dicotomía entre curso integrado o enseñanza distribuida, curso obligatorio o electivo y enseñanza teórica intensa o no. Una actividad curricular electiva denominada “Compatibilidad Electromagnética” aumentó notablemente sus inscriptos cuando pasó a

llamarse “Diseño avanzado de circuitos impresos”.

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN y DESARROLLO

El PID UNR “Laboratorio para la enseñanza de compatibilidad electromagnética e integridad de señal: desarrollo, aplicación y optimización” busca, a partir de este año, el desarrollo de experiencias de laboratorio para su utilización en los cursos de grado y posgrado como así también el desarrollo de sondas de bajo costo.

Se proponen como objetivos generales incorporar conceptos de EMC e IS a lo largo de la carrera; implementar un curso integrado al final de la carrera de grado; ofrecer cursos de posgrado y soporte a la industria local; constituir un laboratorio que permita realizar dicho soporte donde los estudiantes accedan al instrumental específico; difundir, promover y fomentar el interés el conocimiento sobre estas temáticas; y la formación de recursos humanos en la temática.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Por el momento, pueden mencionarse como resultados:

Aprobación del proyecto PFIP ESPRO, actualmente en su primeros meses de ejecución, que permitirá no solo la adquisición del instrumental inicial para el laboratorio y el entrenamiento en cuestiones de EMC e IS de los equipos de desarrollo de las empresas intervinientes, sino también la visibilización dentro del entramado productivo local de la existencia de un núcleo de investigación y vinculación sobre estas temáticas.

Lanzamiento en 2018 de la asignatura electiva “Diseño avanzado de circuitos impresos” y del curso de posgrado “Compatibilidad Electromagnética aplicada al diseño electrónico”.

INTEGRACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA E INTEGRIDAD DE SEÑAL A LA FORMACIÓN DE GRADO Y POSGRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Roatta, Santiago - sroatta@fceia.unr.edu.ar - Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Geninatti, Sergio - foco@fceia.unr.edu.ar - Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Gennai, Gerardo - gennai@fceia.unr.edu.ar Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Participación en la SASE 2019 con el tutorial: “Diseño de Circuitos impresos EMC” y el workshop: “Principios para el desarrollo de impresos con baja emisión y alta inmunidad”.

Como resultados específicos esperados podemos agregar la constitución del laboratorio de EMC e IS, la implementación de las experiencias prácticas para que los alumnos tanto de grado como de posgrado puedan tener acceso y entrenamiento con instrumental acorde y la posibilidad de brindar soporte al entramado productivo local.

Como objetivo general obtenido y esperado, incrementar en cantidad y calidad los recursos humanos disponibles, para la aplicación integral de EMC e IS en el diseño electrónico.

4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Los integrantes de las cátedras de Sistemas Digitales III y Sistemas Digitales IV integran el equipo de trabajo inicial (un profesor titular, un asociado, dos adjuntos y un Jefe de trabajos prácticos). En un principio, la capacitación del equipo fue realizada por seminarios internos a cargo del director y codirector, con lo que se logró cierta uniformidad de conocimientos básica, que posteriormente fue perfeccionada por las actividades de investigación.

Por otro lado, es necesario recordar que nuestra línea de I/D está principalmente centrada en el desarrollo de las condiciones para impulsar la formación de recursos humanos en la temática. Prueba de ello es la institucionalización de los cursos de grado y posgrado además de la especial formación que se imparte a los equipos de desarrollo de las empresas participantes en el PFIP ESPRO.

Adicionalmente, el equipo de investigación tradicionalmente ha dirigido entre 5 y 6 Proyectos de Ingeniería (tesinas de grado) por año. En los últimos años, independientemente

de la temática del trabajo, las consideraciones de EMC e IS se han incrementado progresivamente. Especialmente en aquellos que incluyen el desarrollo de un circuito impreso. De este modo, aunque las temáticas abordadas en los trabajos son diversas, las cuestiones de EMC e IS se encuentran embebidas en ellos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hubing, T., & Orlandi, A. (2005). A brief history of EMC education. In *16th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on EMC* (pp. 95-98). Unknown Publisher.
- [2] Paul, C. R. (1986, September). An undergraduate course in electromagnetic compatibility. In *1986 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility* (pp. 1-5). IEEE.
- [3] Paul, C. R. (1990). Establishment of a university course in electromagnetic compatibility (EMC). *IEEE Transactions on Education*, 33(1), 111-118.
- [4] Nelson, R. M. (1991, July). The EMC course: Bridging the gap between academic preparation and industrial needs. In *IEEE 1991 International Symposium on Electromagnetic Compatibility* (pp. 319-320). IEEE.
- [5] Austin, B. A. (1992, September). Teaching EMC engineering in an overloaded curriculum. In *Eighth International Conference on Electromagnetic Compatibility, 1992.* (pp. 263-266). IET.
- [6] Drewniak, J. L., Hubing, T. H., Van Doren, T. P., & Sha, F. (1995, August). Integrating electromagnetic compatibility laboratory exercises into undergraduate electromagnetics. In *Proceedings of International Symposium on Electromagnetic Compatibility* (pp. 35-40). IEEE.
- [7] Deb, G. K. (1999, December). Importance of EMC education. In *Proceedings of the International Conference on Electromagnetic*

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y ENSEÑANZA EN COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA E INTEGRIDAD DE SEÑAL FCEIA/UNR

Roatta, Santiago - sroatta@fceia.unr.edu.ar - Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Geninatti, Sergio - foco@fceia.unr.edu.ar - Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Gennai, Gerardo - ggennai@fceia.unr.edu.ar Digital/Departamento de Electrónica/FCEIA/UNR.

Interference and Compatibility (pp. 160-167). IEEE.

[8] Pantic-Tanner, Z. (2001). Integrated EMC Education at San Francisco State University.

[9] Jost, R. J. (2003, August). Introducing EMC into the curriculum for the first time: experiences in achieving depth and breadth. In *2003 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No. 03CH37446)* (Vol. 1, pp. 170-172). IEEE.

[10] Hellany, A., & Nagrial, M. H. (2003, August). Project based engineering education: a case for teaching EMC/EMI. In *Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics, 2003. APACE 2003.* (pp. 88-91). IEEE.

[11] Zhao, Y., & See, K. Y. (2004). A practical approach to EMC education at the undergraduate level. *IEEE Transactions on Education*, 47(4), 425-429.

[12] Song, J., Voltmer, D. R., & Wheeler, E. (2005, August). A required EMC course for computer engineering undergraduates. In *2005 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2005. EMC 2005.* (Vol. 1, pp. 13-18). IEEE.

[13] Foo, W. J., & Chee, J. (2006). Teaching near field coupling with PCB layout. In *2006 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility* (pp. 557-560). IEEE.

[14] Abhari, R. (2007, June). Teaching Electromagnetic Compatibility with emphasis on signal integrity in designing simulation and laboratory experiments. In *2007 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium* (pp. 5383-5386). IEEE

[15] Hoover, K. E., Song, J., Wheeler, E. D., & Drewniak, J. L. (2009). Three Practical and Effective RF and EMC Experiments for a Computer Engineering Course on Electromagnetics and EMC.

[16] Leung, S. W., & Chan, K. H. (2012). Development of electromagnetic compatibility

courses at the City University of Hong Kong. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 1(1), 50-54.

[17] Väänänen, O. (2013, September). EMC course for electronics bachelor degree students at JAMK University of applied sciences. In *2013 International Symposium on Electromagnetic Compatibility* (pp. 896-899). IEEE.

[18] Tarateeraseth, V. (2014). Educational laboratory experiments on EMC in power electronics. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 3(3), 55-60.

[19] Balaji, U. (2014, May). Teaching electromagnetic compatibility to engineering technology students. In *IEEE Long Island Systems, Applications and Technology (LISAT) Conference 2014* (pp. 1-5). IEEE.

[20] Chatterjee, I. (2016, April). Electromagnetic Compatibility lecture and laboratory course for undergraduate and graduate students. In *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* (pp. 1-3). IEEE.